

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 432 106**

51 Int. Cl.:

H02P 1/58 (2006.01)

H02P 5/74 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.06.2012 E 12171985 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2013 EP 2546976**

54 Título: **Procedimiento de conexión en marcha de un motor en un variador de velocidad**

30 Prioridad:

12.07.2011 FR 1156339

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.11.2013

73 Titular/es:

**SCHNEIDER TOSHIBA INVERTER EUROPE SAS
(100.0%)
33, rue André Blanchet
27120 Pacy sur Eure, FR**

72 Inventor/es:

**DEVOS, THOMAS y
MALRAIT, FRANÇOIS**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 432 106 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de conexión en marcha de un motor en un variador de velocidad

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de conexión de un motor adicional en un variador de velocidad ya bajo carga y conectado a al menos otro motor. El procedimiento de acuerdo con la invención prevé la conexión en marcha del motor adicional, sin cortocircuito -o *bypass* según el término inglés consagrado- de dicho variador de velocidad para la alimentación del al menos un primer motor.

Estado de la técnica

10 De manera conocida, un único variador de velocidad puede dirigir varios motores en paralelo, al menos unos motores asíncronos.

15 La solicitud de patente EP 1426620 describe un ejemplo de un sistema de este tipo. Para permitir la conexión en marcha de un motor adicional en paralelo de un primer motor ya bajo carga en un mismo variador de velocidad, el documento EP 1426620 da a conocer un procedimiento que comprende en particular la desconexión del primer motor del variador de velocidad y su conexión a la red. A continuación, el motor adicional es conectado al variador de velocidad. Este procedimiento es representativo del estado de la técnica y presenta varios inconvenientes.

20 En primer lugar, de acuerdo con este documento conocido, la necesidad de conectar un motor adicional surge cuando el primer motor está a plena carga y se precisa más potencia. En este caso, en una primera fase, el primer motor está desconectado del variador de velocidad y conectado a la red de alimentación eléctrica de tal modo que funciona en modo continuo a pleno régimen. En una segunda fase, el motor adicional está conectado al variador de velocidad. Este procedimiento implica una pérdida de control del primer motor desde el variador de velocidad. Además, en la primera fase, se genera un pico de corriente por la conexión del primer motor en la red.

25 Una variante conocida del estado de la técnica consiste en tener todos los motores conectados en la salida de un variador de velocidad. En este caso, los motores siguen pudiendo controlarse de forma permanente. El estado de la técnica en este tipo de esquema prevé la adición o la supresión de los motores pasando por una fase de parada de dichos motores. Sin una secuencia particular, la conexión directa del motor adicional en el variador de velocidad en marcha implica un pico de corriente que puede ser elevado y que corre el riesgo de conllevar un deterioro de dicho motor adicional.

30 Los documentos JP 58207897 y JP 59198887 dan a conocer unos procedimientos de conexión de un motor adicional en un variador de velocidad en paralelo a un primer motor. El documento JP 59123489 da a conocer un procedimiento que permite poner en marcha y acelerar de forma sucesiva dos motores eléctricos utilizando un único variador de velocidad.

35 El objeto de la invención es, por lo tanto, proponer una solución de conexión en marcha de un motor adicional en un variador de velocidad que no precisa, por definición, una parada del sistema, que no implica un *bypass* del variador de velocidad para el o los motores ya bajo carga, y, sobre todo, que no conlleva un elevado pico de corriente que corre el riesgo de deteriorar el motor adicional.

Descripción de la invención

Para este propósito, la presente invención tiene por objeto un procedimiento de conexión de un motor adicional en un variador de velocidad en paralelo a, al menos, un primer motor bajo carga controlado por dicho variador de velocidad; el procedimiento de acuerdo con la invención comprende de manera ventajosa las siguientes etapas:

- 40
- la desconexión de al menos un primer motor del variador de velocidad;
 - la aplicación de un estimador de estado del al menos un primer motor, en base a un modelo de carga previamente establecido de dicho al menos un primer motor, estando dicho estimador de estado adaptado para calcular la evolución a lo largo del tiempo de un estado estimado del al menos un primer motor, comprendiendo dicho estado estimado al menos la velocidad de dicho al menos un primer motor;
- 45
- la conexión del motor adicional en el variador de velocidad;
 - la puesta en marcha del motor adicional con la consigna de alcanzar el estado estimado del al menos un primer motor;
 - cuando el estado del motor adicional alcanza el estado estimado del al menos un primer motor, la reconexión de dicho al menos un primer motor.

50 De manera ventajosa, el procedimiento de acuerdo con la invención puede comprender, además, de forma previa a la etapa de reconexión del al menos un primer motor, una etapa de desconexión del motor adicional seguida de una etapa de reconexión del motor adicional sustancialmente de forma simultánea a la reconexión del al menos un primer motor.

De acuerdo con un modo de realización de la invención, el estimador de estado del al menos un primer motor está adaptado para calcular la evolución a lo largo del tiempo del estado estimado de dicho al menos un primer motor, comprendiendo dicho estado estimado, además de su velocidad, el flujo eléctrico de dicho al menos un primer motor.

5 De acuerdo con un modo de realización de la invención, el estimador de estado de dicho al menos un primer motor está adaptado para calcular la evolución a lo largo del tiempo del estado estimado de dicho al menos un primer motor, comprendiendo dicho estado estimado, además de su velocidad, el ángulo del rotor de dicho al menos un primer motor.

10 De acuerdo con la invención, dicho al menos un primer motor puede consistir en una pluralidad de motores conectados en paralelo.

Breve descripción de las figuras

Se mostrarán otras características y ventajas en la descripción detallada que sigue, hecha en relación a los dibujos adjuntos, que representan:

- 15 - la figura 1: el esquema de principio de un sistema que comprende un variador de velocidad que controla al menos dos motores en paralelo;
- la figura 2: el esquema de secuencia temporal del procedimiento de acuerdo con la invención.

Descripción detallada de al menos un modo de realización

20 En referencia a la figura 1, un variador de velocidad D, alimentado por una red de alimentación P, está conectado a dos motores M1, M2 en paralelo por medio de dos contactores respectivos S1, S2. El procedimiento de acuerdo con la invención se sitúa en el contexto en el que un primer motor M1 está bajo carga, conectado al variador de velocidad D, cuando se da una orden de puesta en marcha de un motor adicional M2. La invención propone una secuencia que permite conducir a una situación en la cual el primer motor M1 y el motor adicional M2 están conectados al variador de velocidad D, sin que la conexión en marcha del motor adicional M2 genere un pico de corriente potencialmente peligroso para dicho motor adicional M2.

25 La figura 2 presenta la secuencia temporal del procedimiento de acuerdo con la invención.

Como se ha mencionado con anterioridad, el procedimiento de acuerdo con la invención se lleva a cabo en el contexto en el que al menos un primer motor M1 está bajo carga, puesto en marcha desde un instante t1 y controlado por un variador de velocidad D, y en el que se da en un instante t2 una orden de puesta en marcha de un motor adicional M2, en paralelo a dicho al menos un primer motor M1.

30 El estado completo de un motor como el primer motor M1 o el motor adicional M2 viene dado por las ecuaciones de más abajo. En lo que se refiere al estado mecánico (velocidad, ángulo) y el estado eléctrico (flujo, corriente) de dicho motor, se verifican las siguientes ecuaciones:

$$(1) \quad L_r \frac{di_e}{dt} = u_e - (R_e + R_{req} + jL_r\omega_e)i_e + (T_r^{-1} - j\omega_r)\varphi$$

$$(2) \quad \frac{d\varphi_r}{dt} = -(T_r^{-1} + j(\omega_e - \omega_r))\varphi_r + R_{req}i_e$$

$$(3) \quad \frac{J}{n_p} \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{3}{2} n_p \operatorname{Im}(\varphi_r^2 i_e) - \tau$$

siendo:

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega_r$$

$$i_e = i_{ed} + j i_{eq}$$

$$\varphi_r = \varphi_{rd} + j \varphi_{rq}$$

y:

- ω_r : la velocidad de rotación del rotor;
- θ : el ángulo del rotor;
- 5 ω_e : la velocidad de rotación del estátor;
- i_e : la corriente del estátor;
- u_e : la tensión aplicada;
- φ_r : el flujo del rotor.

Los parámetros del motor son:

- 10 R_e : la resistencia del estátor;
- L_F : la inductancia de fuga;

R_{req} : la resistencia equivalente del rotor $\left(R_{req} = R_r \left(\frac{L_M}{L_r} \right)^2 \right)$ siendo:

- 15 R_r : la resistencia del rotor;
- L_M : la inductancia mutua;
- L_r : la inductancia del rotor;

T_r : la constante de tiempo del rotor $\left(T_r = \frac{R_r}{L_r} \right)$

- J : la inercia del rotor;
- n_p : el número de pares de polos.

- 20 En este contexto, el procedimiento de acuerdo con la invención comprende un conjunto de etapas sucesivas cuya secuencia se representa en la figura 2.

- 25 La primera etapa consiste en desconectar dicho al menos un primer motor M1 en el momento en el que se da una orden de puesta en marcha del motor adicional M2, en el instante t2. Como consecuencia, como lo muestran los diagramas de la figura 2, la velocidad del al menos un primer motor M1 decrece, su flujo eléctrico decrece muy rápido y su corriente se anula.

Debido a la anulación de la corriente presente en el primer motor M1, las ecuaciones (1), (2) y (3) se convierten en:

$$(1) \quad u_{e1} = -(T_r^{-1} - j\omega_{r1})\varphi_{r1}$$

$$(2) \quad \frac{d\varphi_{r1}}{dt} = -T_r^{-1}\varphi_{r1}$$

$$(3) \quad \frac{J}{n_p} \frac{d\omega_{r1}}{dt} = -\tau$$

siendo:

$$\frac{d\theta_1}{dt} = \omega_{r1}$$

$$i_{e1} = 0$$

$$\omega_{e1} = \omega_{r1}$$

5 Un estimador, establecido previamente mediante métodos conocidos, calcula la evolución a lo largo del tiempo de un estado estimado de dicho al menos un primer motor M1. Este estado estimado presenta al menos una componente mecánica que comprende al menos la velocidad del al menos un primer motor M1. Esta componente mecánica se estima a partir de un modelo de par de carga de la aplicación considerada. Por ejemplo, el par de carga de un ventilador presenta una forma en $k \cdot \omega_1^2$, siendo ω_1 la velocidad del motor de dicho ventilador. El estado mecánico también puede comprender el ángulo del rotor del al menos un primer motor M1 para un funcionamiento óptimo de la secuencia propuesta, sin generar ningún pico de corriente durante los cambios de fases.

10 El estado estimado calculado por el estimador también puede presentar una componente eléctrica que comprende el flujo eléctrico del al menos un primer motor M1 y/o la intensidad de la corriente del al menos un primer motor M1.

15 Sustancialmente en el mismo instante t_2 en el que se da la orden de puesta en marcha del motor adicional M2, es decir de forma simultánea o inmediatamente antes o inmediatamente después, el motor adicional M2 se conecta al variador de velocidad D, con una velocidad de consigna inicialmente nula, y a continuación una consigna global de tender hacia el estado estimado del al menos un primer motor M1. Tender hacia el estado estimado del al menos un primer motor M1 consiste para el motor adicional M2 como mínimo en alcanzar en un instante dado, por medio de una consigna adaptada, una velocidad igual a la velocidad del al menos un primer motor M1 en el mismo instante.

20 Para un funcionamiento óptimo, tender hacia el estado estimado del primer motor M1 consiste para el motor adicional M2 en alcanzar la velocidad, el ángulo y el flujo estimados del primer motor M1. Así pues, no se produce ningún exceso de corriente durante el cierre de los contactores y se controla en todo momento el estado del primer motor M1 y del motor adicional M2 (corriente, flujo, velocidad, ángulo).

En la reconexión sustancialmente simultánea del primer motor M1 y del motor adicional M2, las ecuaciones (1), (2) y (3) se escriben:

$$(1) \quad L_F \frac{d\Delta i_e}{dt} = -(R_e + R_{req} + jL_F \omega_e) \Delta i_e + (T_r^{-1} - j\omega_{r1}) \Delta \varphi_r - j\Delta \omega_r$$

$$(2) \quad \frac{d\Delta \varphi_r}{dt} = -(T_r^{-1} + j\omega_e) \Delta \varphi_r + j\Delta \omega_r \varphi_{r2} + R_{req} \Delta i_e$$

$$(3) \quad \frac{J}{n_p} \frac{d\Delta \omega_r}{dt} = \frac{3}{2} n_p (\Delta \varphi_{rd1eq1} + \varphi_{rd2} \Delta i_{eq} - \Delta \varphi_{rq1ed1} + \varphi_{rq2} \Delta i_{ed})$$

siendo:

$$\frac{d\Delta \theta}{dt} = \Delta \omega_r \quad \text{y} \quad \Delta x = x_1 - x_2$$

30 En el marco de los motores de inducción, al caer la amplitud del flujo eléctrico de forma bastante rápida en una desconexión, la sincronización única de la velocidad ya permite reducir de manera considerable los picos de corriente, con la condición de que la conexión del motor adicional M2 se haga bastante después tras la primera desconexión del al menos un primer motor M1, con el fin de garantizar que el flujo eléctrico residual del al menos un

primer motor M1 es bajo. En el marco de los motores síncronos de magneto permanente, al ser fija la amplitud del flujo eléctrico, es necesario sincronizar el ángulo y la velocidad del motor adicional M2 con el ángulo y la velocidad del al menos un primer motor M1, no controlándose el flujo, pero considerándolo idéntico.

5 Desde el instante $t3'$ en el que el estado del motor adicional M2 alcanza el estado estimado del al menos un primer motor M1, dicho al menos un primer motor M1 se vuelve a conectar en el variador de velocidad D.

10 De acuerdo con un modo preferente de realización, antes de volver a conectar dicho al menos un primer motor M1 en el variador de velocidad D, el motor adicional M2 se desconecta brevemente del variador de velocidad D en el instante $t3$, antes de que el al menos un primer motor M1 y el motor adicional M2 se vuelvan a conectar de forma simultánea en el variador de velocidad D, en el instante $t3'$. De este modo, en el momento de la reconexión, el al menos un primer motor M1 y el motor adicional M2 presentan una intensidad de corriente que los atraviesa igual ya que esta última se ha llevado a cero mediante la desconexión. Los dos estados completos de los motores M1 y M2 (velocidad, ángulo, flujo, corriente) son, por lo tanto, completamente iguales.

Desde el instante $t3'$ en el que al menos un primer motor M1 y el motor adicional M2 están ambos conectados al variador de velocidad D, a estos últimos los controla de manera simultánea dicho variador de velocidad D.

15 En resumen, la invención presenta un procedimiento de conexión en marcha de un motor adicional en un variador de velocidad en paralelo a, al menos, un primer motor ya bajo carga.

Hay que señalar que para la aplicación del procedimiento de acuerdo con la invención, dicho al menos un primer motor puede ser un conjunto de motores considerados como un motor equivalente.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de conexión de un motor adicional (M2) en un variador de velocidad (D) en paralelo a, al menos, un primer motor (M1) bajo carga controlado por dicho variador de velocidad (D), **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas:
- 5 • la desconexión del al menos un primer motor (M1) del variador de velocidad (D);
- la aplicación de un estimador de estado del al menos un primer motor (M1), en base a un modelo de carga previamente establecido de dicho al menos un primer motor (M1), estando dicho estimador de estado adaptado para calcular la evolución a lo largo del tiempo de un estado estimado del al menos un primer motor (M1), comprendiendo dicho estado estimado al menos la velocidad de dicho al menos un primer motor (M1);
- 10 • la conexión del motor adicional (M2) en el variador de velocidad (D);
- la puesta en marcha del motor adicional (M2) con, como consigna, alcanzar el estado estimado del al menos un primer motor (M1);
- cuando el estado del motor adicional (M2) alcanza el estado estimado del al menos un primer motor (M1), la reconexión de dicho al menos un primer motor (M1).
- 15 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** comprende, además, de forma previa a la etapa de reconexión del al menos un primer motor (M1), una etapa de desconexión del motor adicional (M2) seguida de una etapa de reconexión del motor adicional (M2) sustancialmente de forma simultánea a la reconexión del al menos un primer motor (M1).
- 20 3. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el estimador de estado del al menos un primer motor (M1) está adaptado para calcular la evolución a lo largo del tiempo del estado estimado de dicho al menos un primer motor (M1), comprendiendo dicho estado estimado, además de su velocidad, el flujo eléctrico de dicho al menos un primer motor (M1).
- 25 4. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el estimador de estado de dicho al menos un primer motor (M1) está adaptado para calcular la evolución a lo largo del tiempo del estado estimado de dicho al menos un primer motor (M1), comprendiendo dicho estado estimado, además de su velocidad, el ángulo del rotor de dicho al menos un primer motor (M1).
5. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** dicho al menos un primer motor (M1) consiste en una pluralidad de motores conectados en paralelo.

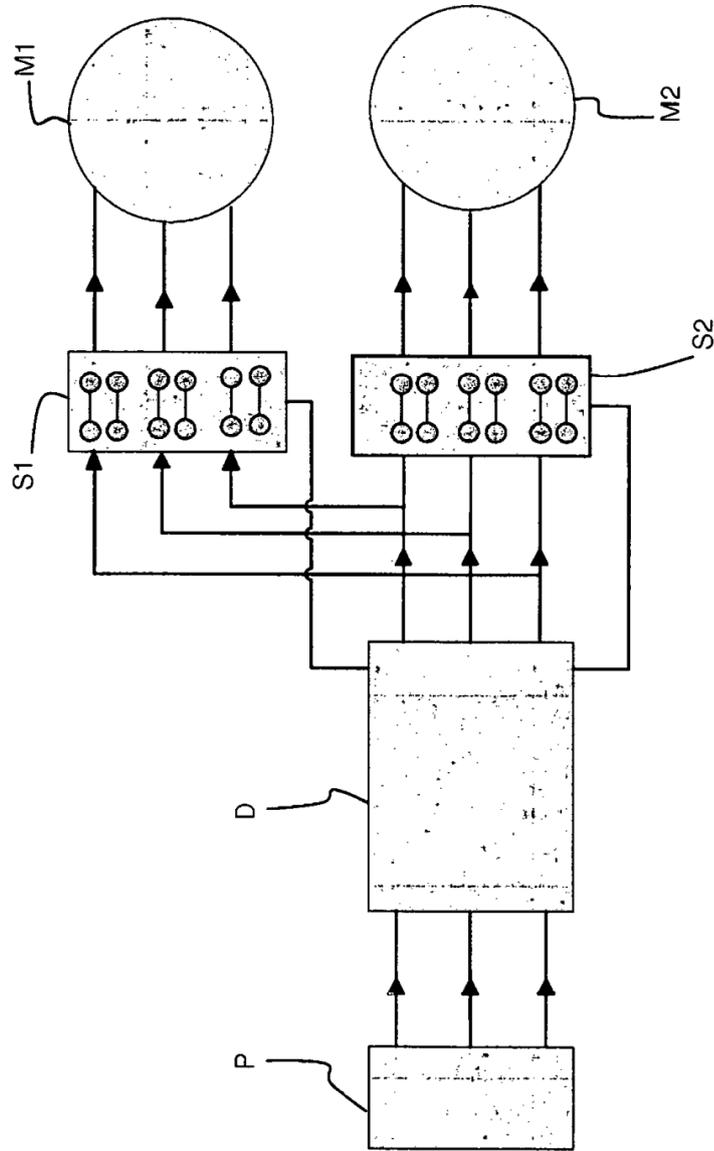


FIG. 1

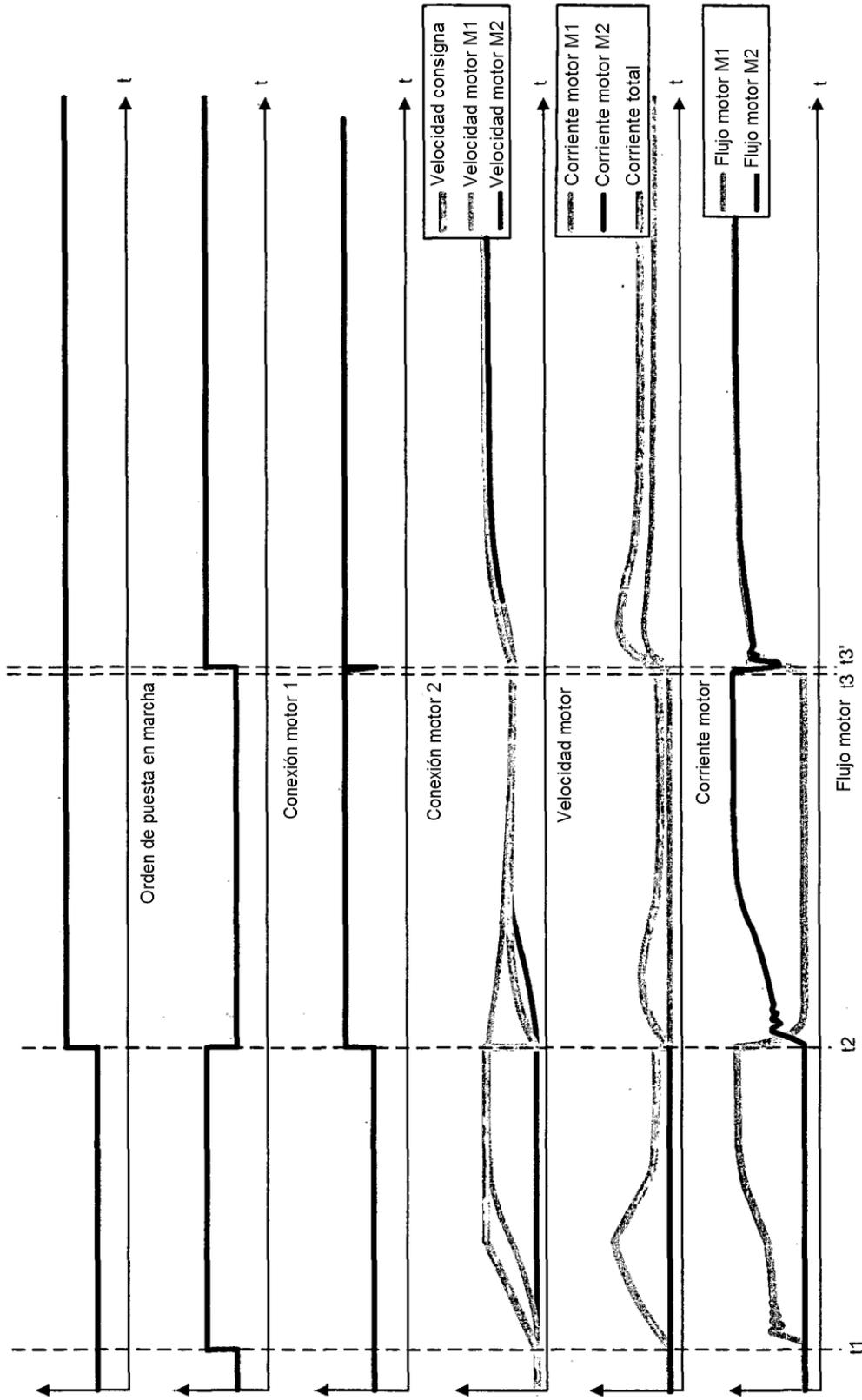


FIG. 2